

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2004年4月15日 (15.04.2004)

PCT

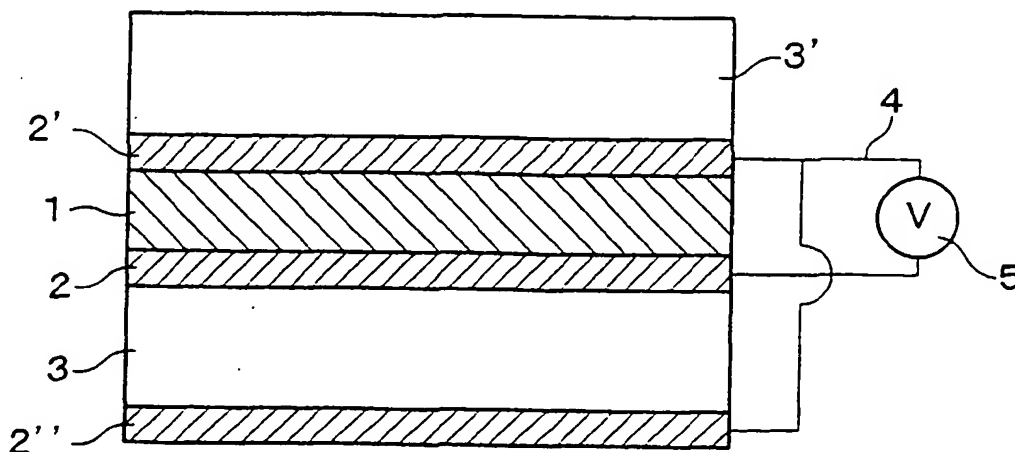
(10) 国際公開番号  
WO 2004/031711 A1

- (51) 国際特許分類: G01L 1/16  
G06F 3/03, H01H 36/00, 13/00, 13/70
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2003/012379
- (22) 国際出願日: 2003年9月26日 (26.09.2003)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願2002-289197 2002年10月1日 (01.10.2002) JP  
特願2002-322301 2002年11月6日 (06.11.2002) JP  
特願2002-352567 2002年12月4日 (04.12.2002) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 独立行政法人産業技術総合研究所 (NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY) [JP/JP]; 〒100-8921 東京都千代田区霞が関1-3-1 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 上野 直広 (UENO, Naohiro) [JP/JP]; 〒841-0052 佐賀県鳥栖市宿町807-1 独立行政法人産業技術総合研究所九州センター内 Saga (JP). 秋山 守人 (AKIYAMA, Morito) [JP/JP]; 〒841-0052 佐賀県鳥栖市宿町807-1 独立行政法人産業技術総合研究所九州センター内 Saga (JP). 立山 博 (TATEYAMA, Hiroshi) [JP/JP]; 〒841-0052 佐賀県鳥栖市宿町807-1 独立行政法人産業技術総合研究所九州センター内 Saga (JP).
- (74) 代理人: 原謙三 (HARA, Kenzo); 〒530-0041 大阪府大阪市北区天神橋2丁目北2番6号 大和南森町ビル 原謙三国際特許事務所 Osaka (JP).
- (81) 指定国 (国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG.

/続葉有/

(54) Title: PIEZOELECTRIC SENSOR AND INPUT DEVICE COMPRISING SAME

(54) 発明の名称: 圧電センサおよびそれを備えた入力装置



(57) Abstract: A piezoelectric sensor wherein a transparent piezoelectric device having a piezoelectric property and a pair of transparent conductor film layers opposed to each other with the piezoelectric device interposed therebetween are formed between a pair of opposing transparent substrates as a means for transmitting pressure. Consequently, the transparent piezoelectric sensor has an excellent durability. A piezoelectric sensor comprises a piezoelectric device with a piezoelectric property which is made of a piezoelectric material having no Curie point and has a degree of dipole orientation not less than 75 %. Consequently, the piezoelectric sensor having an excellent durability and a simple structure is provided at low cost.

(57) 要約: 圧電センサにおいて、圧力を伝達する圧力伝達手段としての、対向する一対の透明基板間に、圧電性を有する透明な圧電素子と、当該圧電素子を介して対向配置される一対の透明導電膜層とが形成されている。これにより、耐久性が優れた透明の圧電センサを提供できる。あるいは、圧電センサにおいて、圧電性を有する圧電素子が、キュリー一点の存在しない圧電材料よりなり、その双極子配向度が75%以上であることで、耐熱性に優れ、なおかつ優れた構造で低価格の圧電センサを提供できる。



SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,  
VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW,  
ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(84) 指定国(広域): ARIPO 特許 (GH, GM, KE, LS, MW, MZ,  
SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア特許 (AM,  
AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許  
(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB,  
GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2 文字コード及び他の略語については、定期発行される  
各 PCT ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語  
のガイダンスノート」を参照。

## 明 細 書

圧電センサおよびそれを備えた入力装置

## 技術分野

本発明は、圧電センサおよびそれを備えた入力装置に関する。より  
5 詳細には、内燃機関のエンジン内部（または内燃機関のシリンダー内  
部）や、原子力発電所プラント等のプラント内部のような高温環境下  
で、アコースティックエミッションや、圧力、振動、加速度といった  
物理量を検出する圧電センサ、あるいは、圧電素子に対向する透明導  
電膜（透明電極）間に形成された透明性の圧電センサ、およびそれが  
10 複数個配置された透明入力装置、に関するものである。

## 背景技術

従来より、種々の分野で圧電センサが用いられている。

その一例としては、圧電センサを用いた透明入力装置が挙げられる。  
15 透明入力装置は、抵抗膜方式（特開平５－２４２７５９号公報（公開  
日１９９３年９月２１日）、静電容量方式（特開平５－３２４２０３  
号公報（公開日１９９３年１２月７日）、アナログ容量方式、超音波  
表面弾性波方式（例えば、特開２００２－１８２８４２号公報（公開  
日２００２年６月２８日）、赤外線走査方式（例えば、特開平１１－  
20 ４５１５５号公報（公開日１９９９年２月１６日）などが利用されて  
いる。

抵抗膜方式の透明入力装置は、一対の対向する基板、すなわち、入

力パネル表面のトップシート（上部基板）と、それに対向する下部基板とから構成されている。また、それぞれの基板の内側は、透明導電膜がコーティングされており、透明導電膜同士は、所定の間隔離れて対向している。すなわち、透明導電膜同士は接触していない。

5        一方、静電容量方式やアナログ容量方式の透明入力装置は、抵抗膜方式の透明入力装置と同様に、透明導電膜がコーティングされた入力パネルに、指が接触すると、静電容量が変化することを原理とし、接触位置を検出する。

10        また、超音波弾性波方式や赤外線走査方式の透明入力装置は、透明パネル上を表面弾性波や赤外線で走査することにより、接触位置を検出する。

15        抵抗膜方式の透明入力装置の場合、外部からの圧力がトップシートに接触すると、間隔のあった透明導電膜同士が接触し、その接触位置が透明導電膜の電圧勾配から計算され、接触位置が検出される。このため、抵抗膜方式の透明入力装置では、トップシートが外部からの圧力の接触によって変形する必要がある。その結果、抵抗膜方式の透明入力装置は、透明導電膜同士の接触による傷の発生や、透明導電膜が変形しなければならないため耐久性の向上に問題がある。

20        一方、静電容量方式やアナログ容量方式の透明入力装置は、静電容量の変化により接触位置を検出する。このため、当然電磁的な雑音（ノイズ）が発生すると誤作動を起こす可能性があるという問題点を有している。

さらに、超音波弾性波方式や赤外線走査方式の透明入力装置は、構成が複雑になりやすく、また、同時多点接触には対応が困難であると

いう問題点を有している。

そこで、より耐久性や耐雑音性に優れた圧電センサ、透明入力装置が求められていた。

また、その他の圧電センサの利用方法として、原子力発電所などの  
5 プラントにおける配管やバルブ、あるいは内燃機関のエンジンなどの  
高温雰囲気を生じる構造物内で、異常探知を行うために、構造物の内  
部に設置されているものがある。例えば、亀裂や割れが生じる時に発  
生する弾性波であるアコースティックエミッションを検出するアコー  
スティックエミッションセンサや、異常振動、加速度の情報を検出す  
10 る圧電型の振動センサが用いられており、これらには、圧縮型、片持  
ち梁型、ダイアフラム型、せん断型等種々の形式のものが知られてい  
る。

この中で、圧縮型の薄膜型圧電センサは、台座、台座側電極、圧電  
体、荷重体側電極、及び荷重体を順次積層した積層体からなり、その  
15 台座の下面を被測定物体に剛に、すなわちしっかりと取り付けて使用  
されるものである。被測定物体に振動が発生すると、振動がセンサの  
台座側に伝達される。センサの台座側は被測定物体とともに振動する  
が、荷重体側は慣性力により振動に遅れが生じ、圧電体に振動加速度  
に比例した圧縮、あるいは引っ張り応力が発生する。そして、その応  
20 力に比例した電荷あるいは電圧が、圧電体の両面に発生し、圧電体両  
側に配設された前記 2 枚の電極がその電気を取り出す。その取り出さ  
れた電気出力を測定することによって被測定物体の振動の大きさや加  
速度を検知することができる。

従来、このような圧電型のセンサに用いられる圧電体としては、特

開平 6-148011 号公報（公開日 1994 年 5 月 27 日）や特開平 10-206399 号公報（公開日 1998 年 8 月 7 日）に記載されているようなチタン酸ジルコン酸鉛やポリフッ化ビニリデンのような圧電体が使用されているが、このような圧電材料の圧電体は分極が  
5 消滅するキュリー温度が低く、その適用限界温度は最高でも 300℃程度である。そこで、圧電体を適用温度に保つために、特開平 5-203665 号公報（公開日 1993 年 8 月 10 日）には、ペルチェ素子によって圧電体を冷却するものが開示されている。しかし、ペルチェ素子は単に局所的な温度勾配を発生させる機能しかないため、圧電  
10 体からはなれた外部に冷却機構を取り付けられず、圧電体が全体的に高温となる箇所ではペルチェ素子を適用できなかった。

したがって、高温となる測定対象物に関しては、上記のように、従来の薄膜型圧電センサが高温に耐えられないため、振動伝達棒などを介して振動を遠隔の低温環境下まで誘導して計測していた。しかしな  
15 がら、アコースティックエミッションのような振動は、途中の振動伝達物質の性質によって減衰したり、伝達経路途中において外部からの余計な振動の混入が発生したりするので、測定対象物の振動を十分に正確に計測できなかった。すなわち、正確な計測のためには、できるだけ発生箇所近傍で振動を計測することが望ましい。

20 そこで、これを可能とする、高温にも耐えられる薄膜型圧電センサとして、圧電層にニオブ酸リチウム等のキュリー温度の高い圧電材料を使用する方法が特開平 5-34230 号公報（公開日 1993 年 2 月 9 日）に示されている。ニオブ酸リチウムは、キュリー温度が約 140℃であり、冷却手段なしで高温環境下での使用が可能である。

しかし、薄膜化が困難であり、また単結晶体でなければ圧電特性が得られず、作製や加工が困難でコストがかかるなどの難点がある。

特開平 10-122948 号公報（公開日 1998 年 5 月 15 日）に記載されている高温薄膜型振動センサでは、これらの問題を解決するためにキュリー温度が存在しない圧電性セラミックスとして酸化亜鉛やチタ化アルミニウムを用い、これを c 軸方向に配向させた薄膜を圧電薄膜素子としている。

しかし、上記特許文献に示される、酸化亜鉛や窒化アルミニウムのような、結晶がウルツ鉱構造をもつ物質は、圧電特性を保つのが難しく、結晶軸を c 軸配向させただけでは圧電特性を安定的に向上できない。すなわち、c 軸配向も圧電特性向上に必要なファクターではあるが、それだけでは、安定して圧電特性を保つことができず、実験データからも、たとえ圧電特性が良好なものが作製できることがあっても、再現性がないことがわかっており、場合によっては全く圧電性が発現しないこともある。

これは、上記特許文献の方法で作製した圧電センサが、基板の上に直接に圧電層を設けており、安定的に圧電素子の結晶の双極子の方向を揃わせることができないからである。たとえ双極子配向度が高いものが作成できたとしても再現性よく圧電層の双極子配向度の高いものを得ることは困難であり、具体的には、圧電層の双極子配向度を 75% 以上に保てない。従って、圧電センサの圧電特性が保たれず、良好な圧力検知を行うことができないという問題があった。

そこで、キュリー温度が存在しない圧電材料を薄膜化し、薄膜中の結晶の極性を配向させることによって圧電特性を保証し、小型で冷却

手段を要せず耐熱性に優れ、なおかつ低価格の、アコースティックエミッションや振動又は加速度を検出する薄膜型の圧電センサが求められていた。

さらに、同様のことが、内燃機関のエンジン燃焼室の現象を把握するためのシリンダー内圧センサにも言える。シリンダー内圧センサは、従来、シリンダー内部に面して設置され、シリンダー内圧をダイアフラムと圧力伝達棒とを介して圧電素子に伝播し、圧電素子よりシリンダー内圧力の大きさに比例した電気信号を取り出すようにして、圧力を検出する。上記圧電素子としては一般に、チタン酸ジルコン酸鉛、チタン酸鉛等のセラミック材料よりなる圧電素子が用いられている。

ところが、エンジンのシリンダー内圧を直接計測する圧電センサは、点火プラグと同様に、高い燃焼温度(500℃)中に曝され、圧電素子はかなりの高温(400℃前後)となる。

セラミック系の圧電素子にあっては、そのキュリー点がチタン酸ジルコン酸鉛系では約250℃、チタン酸鉛系では約350℃と、上記燃焼温度よりも低く、いずれもそのままでは、圧電素子がキュリー点に達してしまう。圧電材料がキュリー点を超える高温になると、圧電素子は消極等により圧電特性が劣化し、使用に耐え得ないので、通常圧電素子を適温に維持する冷却手段を別途付加したうえで使用されている。

一方、冷却手段を不要とする構成とするためには、既に述べたように、上記の特開平5-34230号公報および特開2000-180286号公報(公開日2000年6月30日)に開示される、ニオブ



酸リチウムのようなキュリー点の比較的高い単結晶の圧電材料からなる圧電素子を利用することが考えられる。ニオブ酸リチウムはキュリー点が約  $1140^{\circ}\text{C}$  であり、エンジンのシリンダー内圧を計測する場合に圧電素子が  $400^{\circ}\text{C}$  前後の高温になったとしても、キュリー点の  
5 ほうがはるかに高いので、圧電素子が劣化することがなく、冷却手段を必要としない。

しかしながら、ニオブ酸リチウムは加工性に劣り、薄膜化が困難であり、単結晶の状態で使用しなければならない。さらに任意形状に加工するためには特殊な方法が必要であるため、その取り扱いには制限  
10 があり、コスト面での難点となっている。

また、ニオブ酸リチウムは、単結晶の保持の問題が生じている。つまり、ニオブ酸リチウムの単結晶をダイアフラムに直接接触させると、ダイアフラムに不均一な圧力が印加された場合に、単結晶保持の役割もある反対側の電極にねじれが発生し、最悪の場合には保持部分が  
15 破損することがある。そこで、これを防ぐために、シリンダー内圧を圧電素子へ伝達する棒状の圧力伝達機構等が必要となり、構造的にも複雑であることは避けられない。

例えば、上記の特開平 5-34230 号公報では、シリンダブロックに設けられたセンサ取り付け用螺子孔に装着される主体金具の内部  
20 に圧電素子、圧力伝達機構等よりなる検出要素を収納するとともに、シリンダーに面する主体金属の下端面にダイアフラムを封着した圧力センサが開示されているが、ダイアフラムと圧電素子との間に圧力伝達棒が必要となる。

また、上記特開 2000-180286 号公報では、圧力伝達棒は

利用していないが、ダイヤフラムに突起が形成され、圧電素子にはダイヤフラムの突起から気筒内圧力による荷重を受けても圧力検出素子にたわみ変形（曲げ変形）が生じないように、圧縮応力が生じる荷重受け構造をなして支持されている。

5        このように、従来から知られている圧電材料では、圧力伝達の構造の複雑化や大型化、価格の高騰を招き、要求を満足するものは存在しなかった。

そこで、このような点からも、耐熱性を有する簡単な構造で低価格の圧電センサが求められていた。

10        本発明は上記従来の問題点に鑑みてなされたものであって、その第1の目的は、圧電性を有する透明な感圧材料を用いることにより、従来に比べて耐久性や耐雑音性に優れた透明性の圧電センサおよびそれを備えた透明入力装置を提供することにある。

15        また、本発明の第2の目的は、圧電特性を保証し、小型で冷却手段を要せず耐熱性に優れ、なおかつ低価格の、アコースティックエミッションや振動又は加速度、あるいは、内燃機関のエンジン燃焼室の現象を把握するためのシリンダー内圧を検出する圧電センサを提供することにある。

## 20        発明の開示

本発明者等は、透明な電極上に圧電材料からなる透明な薄膜を形成する方法について種々研究を重ねた結果、圧電性セラミックスを単結晶状に成長させて薄膜を形成することにより、上記の目的を達成し得ることを見出し、かかる知見に基づいて本発明を完成させるに至った。

すなわち、本発明にかかる圧電センサは、透明導電膜を電極とし、その電極上に透明な圧電性セラミックスの単結晶薄膜を形成させ、その表面にさらに透明な導電膜を付設し、二層の導電膜間に検出手段を介して電気回路を形成してなる圧電センサと、それを複数個備えた透明入力装置を提供するものである。

本発明にかかる圧電センサは、上記の課題を解決するために、圧力を伝達する圧力伝達手段としての対向する一対の透明基板間に、圧電性を有する透明な圧電素子と、当該圧電素子を介して対向配置される一対の透明導電膜層とが形成されていることを特徴としている。

換言すれば、本発明の圧電センサは、透明導電膜が形成された一対の基板における透明導電膜間に、圧電性を有する圧電素子からなる層が形成されている。

上記の構成によれば、外部から基板に圧力が加えられると、その圧力が基板を介して圧電性を有する圧電素子に作用する。その結果、圧電素子には電荷が生じる。この電荷は、一対の透明導電膜からなる透明電極により検出される。すなわち、透明電極により、圧電素子に生じた電荷を検出し、その検出信号を外部に出力できる。

従来の抵抗膜方式の圧電センサは、透明導電膜と、透明導電膜との間は空間であり、透明導電膜同士は所定の間隔離れて配置されている。そして外部から基板に圧力が加えられると、透明導電膜が変形し、透明導電膜同士が接触することにより、外部からの圧力を検出していた。このため、透明導電膜の接触による傷の発生や透明導電膜の耐久性に問題が生じていた。

これに対して、本発明の圧電センサは、圧電素子を介して一対の透

明導電膜が対向配置されている。そして外部から基板に圧力が加えられると、圧電素子に電荷が発生し、その電荷を透明導電膜により検出することにより、外部からの圧力を検出する。したがって、透明導電膜同士が接触する必要がないので、接触による傷の発生を防止することができる。さらに、透明導電膜が変形する必要がないため、従来よりも耐久性に優れた圧電センサを提供することができる。

本発明の圧電センサにおいて、上記圧電素子は、窒化アルミニウムまたは酸化亜鉛であることが好ましい。

窒化アルミニウムまたは酸化亜鉛は、圧電性薄膜の中でも機械的強度が比較的が高い。したがって、より耐久性に優れた圧電センサを提供することができる。

本発明の圧電センサにおいて、上記圧電素子の厚さは、 $1\ \mu\text{m} \sim 10\ \mu\text{m}$ であることが好ましい。

圧電素子が薄すぎると、透明導電膜間の絶縁性を維持できず絶縁不良が生じやすい。また、圧電素子が厚すぎると、圧電素子を形成するのに要する時間が長くなる。しかし、圧電素子の厚さを $1\ \mu\text{m} \sim 10\ \mu\text{m}$ とすれば、透明導電膜間の絶縁性を維持することができ、かつ、圧電素子の形成に要する時間も長くない。

本発明にかかる圧電センサにおいて、上記一対の透明基板の一方における上記透明導電膜層が形成される面とは反対側の面に、さらに透明導電膜層が形成されていてもよい。

上記の構成によれば、上記一対の透明基板のうちの一方には、さらに透明導電膜層が形成されている。すなわち、一方の透明基板は、透明導電膜層により挟持されていることになる。

例えば、圧電素子を介して対向配置される一対の透明導電膜のうち、一方の透明導電膜を常にゼロ電位に維持し、もう一方の透明導電膜により圧電素子に発生した電荷を検出する場合、外部から不要な雑音（ノイズ）が発生すると、そのノイズが当該電荷を検出する透明導電膜によって検出されてしまう可能性がある。その結果、圧電センサが誤動作する虞がある。

しかしながら、本発明の圧電センサによれば、圧電素子の電荷を検出する透明導電膜層が形成される透明基板の当該透明導電膜層とは反対側の面に、さらに透明導電膜層を形成されている。これにより、新たに形成した透明導電膜層を常にゼロ電位に維持すれば、外部からノイズが発生したとしても、そのノイズは上記反対側の面に形成された透明導電膜層により検出される。

したがって、本発明の圧電センサによれば、外部からのノイズが、圧電素子の電荷を検出する透明導電膜層に達することはない。これにより、外部からのノイズが圧電素子の電荷として検出されるのを確実に防止できるので、誤動作も防止できる。

本発明にかかる圧電センサの製造方法は、上記の課題を解決するために、一対の透明基板のそれぞれに透明導電膜層を形成する工程と、当該透明基板の一方に形成された透明導電膜層を覆うように、圧電性を有する透明な圧電素子を形成する工程と、当該圧電素子と、当該圧電素子が形成されていない透明基板に形成された透明導電膜層とを接着させる工程とを含んでいることを特徴としている。

上記の構成によれば、圧電性を有する圧電素子を介して対向する透明導電膜が形成された圧電センサが製造される。この圧電センサは、

圧電素子を介して一对の透明導電膜が対向配置されている。そして外部から基板に圧力が加えられると、圧電素子に電荷が発生し、その電荷を透明導電膜により検出することにより、外部からの圧力を検出する。

5       したがって、透明導電膜同士が接触する必要がないので、接触による傷の発生を防止することができる圧電センサを提供することができる。さらに、透明導電膜が変形する必要がないため、従来よりも耐久性に優れた圧電センサを提供することができる。

10       本発明にかかる入力装置は、上記の課題を解決するために、前述した本発明にかかる圧電センサを複数個備えていることを特徴としている。

すなわち、上記入力装置は、本発明の圧電センサをキーパットとして複数個備えた透明な入力装置である。

15       前述のように、本発明の圧電センサは、従来のように透明導電膜層同士が接触することがないので、接触による傷を防止することができ、耐久性にも優れている。したがって、本発明の圧電センサを備えている入力装置も同様の効果の入力装置を提供できる。また、外部からの圧力を圧電素子により検出するので、簡素な構成で圧力が加えられた位置を検出できる。

20       また、本発明者らは、種々研究を重ねた結果、金属ダイフラム上にキュリ一点を持たない圧電材料を、双極子配向度を制御しながら単結晶状に成長させて薄膜を形成することにより、低価格で単純な構造の圧電センサを完成させるに至った。

すなわち、本発明に係る圧電センサは、薄い金属製ダイアフラムに

キュリー点を持たない圧電性セラミックスを単結晶状に成長させて薄膜を形成し、このダイアフラムを、内燃機関のシリンダーに装着させ、検出開口がシリンダー内に位置する軸孔を備えた主体金具の、その軸孔の開口端に圧封してなる圧力センサを提供するものである。

5       本発明の圧電センサは、上記の課題を解決するために、圧力を伝達する圧力伝達手段と、上記圧力伝達手段により伝達される圧力を受けて電気信号に変換する圧電素子とを含む圧力検知手段を備えた圧電センサにおいて、上記圧電素子が、キュリー点の存在しない圧電材料よりなり、その双極子配向度が75%以上であることを特徴としている

10       。上記「キュリー点の存在しない圧電材料」とは、圧電特性を有し、かつ結晶が融解あるいは昇華するまで圧電性を失うことのない材料であり、言い換えると、温度の上昇に伴った極性転位を起こさない材料である。具体的には、ウルツ鉱構造の結晶構造をもつ物質が挙げられる。

15       ウルツ鉱構造の結晶構造をもつ物質は、結晶に対称性が存在しないため圧電性を備えており、さらに、チタン酸ジルコン酸鉛のような強誘電体と異なり、キュリー点が存在せず、結晶が融解あるいは昇華するまで圧電性を失うことはない。したがって、係る圧電材料からなる圧電素子は、耐熱性に優れ、高温下でも圧電特性が劣化することが

20       ないため、エンジンのシリンダーのような500℃近い高温下に曝されたとしても、その圧電素子としての機能を失うことがない。そのため、圧電素子の冷却手段が不要となる。さらに、温度環境をほとんど考慮する必要がないため、温度の低い位置に圧電素子を設置しなければならないという制限がなくなるので、より単純な構成をとることが

可能となる。したがって、耐熱性を有する、低価格で、簡単な構造の圧電センサを実現できる。

また、「双極子配向度」とは、電気双極子をなす結晶柱の薄膜表面の極性が正あるいは負の、同一方向のものが占める割合であると定義する。もし、結晶柱の極性の方向が完全にランダムであれば、それぞれの結晶柱の圧電性は互いに打ち消しあって、薄膜全体では圧電性が消滅する。すなわち、圧電素子の双極子配向度が75%より小さいと、見かけ上の圧電定数が双極子配向度100%時の半分以下になってしまい、圧電素子の圧電特性が劣化し、良好な応力検知、圧力検知ができない。圧電素子の双極子配向度が75%以上となるように形成すれば、上述した問題は発生せず、良好に圧電性を保持できるため、耐熱性を有する簡単な構造の圧電センサが良好に圧電特性を保てる。

なお、ウルツ鉱構造などのキュリー点の存在しない材料は、強誘電体と異なり、結晶形成後に事後的に外部電場によって双極子の方向を制御することはできないので、薄膜形成後に個々の結晶柱の双極子の方向を制御することは不可能である。したがって、薄膜形成時における結晶の双極子の配向性制御を行うことにより、薄膜の良好な圧電特性を確保する必要がある。

なお、このような圧電素子は、上記の透明な圧電センサの圧電素子に適用してもよい。

また、本発明の圧電センサは、上記の課題を解決するために、上記の構成に加え、圧電素子が、窒化アルミニウム（AlN）または酸化亜鉛（ZnO）よりなることを特徴としている。

AlNおよびZnOはウルツ鉱構造の結晶構造をもつ物質であり、



結晶に対称性が存在しないため本来圧電性を備え、しかも強誘電体のようにキュリー温度が存在せず、高温下でも極性転位を起こすことがないので、結晶が融解あるいは昇華するまで圧電性を失うことはない。

例えば、A1Nの昇華温度は約2000℃であるので、A1Nは2000℃まで圧電性を失うことがない。エンジンシリンダー内の燃焼温度は約500℃であるので、A1Nを用いた圧電素子は、エンジンシリンダー内で冷却手段を用いることなく、圧電特性を保持できる。従って、係る圧電材料からなる圧電素子は、耐熱性に優れ、高温でも圧電特性が劣化するようなことがない。また、加工性に優れ、薄膜化を図る上でも適している。

このような耐熱性のある圧電素子では、圧電素子の冷却手段が不要となり、温度の低い位置に圧電素子を設置しなければならないという制限もなくなるので、低価格で、簡単な構造の、耐熱性の圧電センサを実現できる。

また、本発明の圧電センサは、上記の課題を解決するために、上記の構成に加え、圧電素子が物理気相成長法により形成されることを特徴としている。

「物理気相成長法」とは、物理的方法で物質を蒸発し、成膜する部材上で凝縮させて薄膜を形成する方法であり、主に、スパッタリング法や真空蒸着法などを指す。この方法によれば、圧電材料の針状の結晶柱が霜柱状に成長し、圧電材料の単結晶状態の薄膜を形成できる。

なお、この結晶柱に応力が作用すると結晶柱の両端に正と負の電荷が発生し、電気双極子を形成するが、どちらの端に正の電荷が発生するかは結晶柱の双極子の方向がどちらを向いているかによる。よって、

双極子配向度を高め、圧電素子の薄膜に良好な圧電特性を確保するには、薄膜形成時において結晶の双極子の配向制御を行う必要がある。例えば、物理気相成長法にて圧電素子を形成させる時に、基板温度、基板ターゲット間距離およびガス圧を最適な値に設定し、結晶のc軸配向を揃えることが必要である。

また、本発明の圧電センサは、上記の課題を解決するために、上記の構成に加え、圧電素子の厚みは、 $0.1\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下であることを特徴としている。

これは、圧電素子の厚みが $0.1\mu\text{m}$ より薄いと、連続的な膜形成が難しい上、上下に電極を配した場合に短絡が発生しやすくなるためであり、 $100\mu\text{m}$ より厚いと成膜時間が長時間になってしまうためである。よって、圧電素子の厚みが上記範囲内であれば、良好に応力、圧力検知を行える圧電センサを短時間で製造することができる。

また、本発明の圧電センサは、上記の課題を解決するために、上記の構成に加え、圧力伝達手段が金属ダイアフラムよりなるものであり、上記圧力検知手段が金属ダイアフラムの表面に圧電素子を形成されてなることを特徴としている。

ここで「ダイアフラム」とは、圧力に対応して変形する膜状体と言う。また、「金属ダイアフラムの表面に圧電素子を形成される」とは、ダイアフラムに直接に圧電素子を形成する場合に限らず、その間にダイアフラムの表面を整えるための下地層や電極の層を介している場合も含まれる。

上記構成によれば、圧力伝達手段として薄い金属ダイアフラムを用い、さらに、金属ダイアフラムの表面に圧電素子を形成するので、単

純な構造の薄い圧力検知手段が得られ、また、圧力伝達棒などの圧力伝達のための複雑な構造が省かれている。さらに、この構成の場合に用いられる金属ダイアフラムは、従来とは異なり、圧電素子への圧力伝達のために用いられ、たわみひずみではなく、圧縮ひずみが発生する。  
5 。したがって、その圧力によるひずみ量はごく僅かで、その上に形成される圧電素子のひずみも小さく、過大なひずみによる圧電素子の破壊を防ぐための構造も必要ない。したがって、圧電センサの構造がより単純化される。

なお、圧力伝達手段には、薄いセラミックスの焼結体を用いることも  
10 できるが、物理的な衝撃や熱衝撃に対する耐久性に劣るため、金属を用いることが好ましい。

また、本発明の圧電センサは、上記の課題を解決するために、上記の構成に加え、内燃機関のシリンダーに、上記圧力検知手段を装着するための主体金具をさらに備えており、該主体金具は、シリンダー内部とシリンダー外部とを連通するための軸孔を有しており、該軸孔の  
15 内部に上記圧力検知手段が設けられていることを特徴としている。

本発明の圧電センサは、耐熱性に優れており、特に内燃機関のシリンダーの内圧を計測する場合により効果的に利用できる。内燃機関の燃焼温度は約500℃であり、その内部に曝される圧電素子も400℃前後になる。そこで、圧電素子を冷却したり、圧電素子を内燃機関から離れた温度の低い位置に設置したりする複雑な構成をとる必要があったが、本発明の圧電センサによれば、温度環境をほとんど考慮する必要がないので、構造の単純化が図れる。  
20

また、本発明者等は、キュリー温度が存在しない圧電材料の薄膜を

形成する方法について種々研究を重ねた結果、酸化物系、炭素系、窒素系またはホウ化物系セラミックスの焼結体や石英ガラスからなる絶縁性の基板や、インコネル又はSUS630相当のような耐熱性金属材料からなる導電性基板上に圧電性セラミックスを極性を制御しながら単結晶状に成長させて薄膜を形成することにより、上記の目的を達成し得ることを見出し、かかる知見に基づいて本発明を完成させるに至った。

すなわち、本発明に係る薄膜型圧電センサは、酸化物系、炭化物系、窒化物系又はホウ化物系セラミックスの焼結体や石英ガラスからなる絶縁性の基板や、インコネル又はSUS630相当のような耐熱性金属材料からなる導電性基板上に、キュリー温度が存在しない圧電セラミックスを単結晶状に成長させて薄膜を形成した高温薄膜型圧電センサであり、これは、圧縮型、片持ち梁型、ダイヤフラム型、せん断型等種々の形式の薄膜型圧電センサに利用できる。

本発明の圧電センサは、上記圧力伝達手段が基板であり、上記基板表面に、第1の導電膜層、圧電素子、および第2の導電膜層をこの順に積層して形成されたものである。

本発明の薄膜型圧電センサは、基板上に第1の導電膜層、圧電素子、第2の導電膜層を成膜して、積層一体化してなるものであるから、構造が単純で小型となる。また、上記第1の導電膜層を圧電素子の双極子配向度を向上させる下地層として機能させることで圧電性を向上できる。

また、本発明の薄膜型圧電センサは、上記の課題を解決するために、上記の構成に加え上記基板が、酸化物系、炭化物系、窒化物系または

ホウ化物系セラミックスの焼結体あるいは石英ガラスからなる絶縁性基板であることを特徴としている。これによれば、上記セラミックス材料は、耐熱性に優れ、製造が容易で安価であるほか、硬度が高く、緻密な特性を有するものがあるので、性能が高く生産性に優れた薄膜型圧電センサが得られる。

また、上記基板は、耐熱性金属材料からなる導電性基板であってもよい。これによれば、基板を第1の導電膜層から信号を取り出すためのリード線の代替とすることができるほか、基板を通常の機械加工により様々な形状に加工できる。

また、本発明の圧電センサは、上記の課題を解決するために、上記第1の導電膜層の圧電素子と接する側の表面が、圧電素子に含まれる金属で覆われていることを特徴としている。

ここで、「圧電素子に含まれる金属」とは、圧電素子の材料として含まれている成分のうちの主な金属を言い、例えば圧電素子が窒化アルミニウムの場合にはアルミニウムを、圧電素子が酸化亜鉛の場合には亜鉛を指すものとする。また、第1の導電膜層は圧電素子と接する側の表面のみが、圧電素子に含まれる金属に覆われていてもよいが、第1の導電膜層全体が圧電素子に含まれる金属からなるものでもよい。すなわち、例えば、上記圧電素子の材料が窒化アルミニウムの時には上記第1の導電膜層の材料をアルミニウムとし、上記圧電素子の材料が酸化亜鉛の時には上記第1の導電膜層の材料を亜鉛としてもよい。

これにより、圧電素子の双極子配向度が高まり、双極子配向度が75%以上となるため、圧電素子の圧電特性を保つことができ、薄膜型圧電センサが良好に応力検知を行うことができる。

また、本発明の薄膜型圧電センサは、上記の課題を解決するために、上記の構成に加え、上記第2の導電膜層が、2個以上に分割されて形成されていることを特徴としている。

これによれば、薄膜型圧電センサ内の位置によって、異なる圧力等の応力が作用した場合には、各電極によって異なる応力が発生し、各電極上に異なる電荷や電圧が発生する。片持ち梁型やダイヤフラム型の圧電センサの場合には、圧電薄膜を形成した基板における応力の差分（つまり上記電極間の差分）を検出したほうが、感度的にも効果的な場合がある。特に片持ち梁型において、曲げ応力ではなく、せん断応力を検出の対象とする場合には、差分がハードウェアにより検出可能となり、個々のアンプのダイナミックレンジに制約を受けずに高感度な検出を実現できる。

本発明のさらに他の目的、特徴、および優れた点は、以下に示す記載によって十分わかるであろう。また、本発明の利益は、添付図面を参照した次の説明で明白になるであろう。

#### 図面の簡単な説明

図1は、本発明の実施の一形態にかかる圧電センサの断面図である。

図2は、本発明の実施の一形態にかかる圧電センサを用いた透明入力装置の斜視図である。

図3は、本発明の実施の一形態にかかる圧電センサを用いた同心円状の透明導電膜層を有する透明入力装置の斜視図である。

図4は、実施例1の圧電センサの応答曲線グラフである。

図 5 は、実施例 1 の圧電センサを示した図である。

図 6 は、本発明の一実施の形態に係る圧電センサの縦断面図である。

。

図 7 は、本発明の一実施の形態に係る圧電センサのダイアフラムの  
5 断面図である。

図 8 は、本発明の一実施の形態に係る圧電センサの積層基板の断面  
図である。

図 9 は、本発明の他の実施の形態に係る、複数の分割上部電極を形  
成した薄膜型圧電センサの積層基板の断面図である。

10 図 10 は、本発明の一実施の形態に係る薄膜型圧電センサを用いて  
振動検知測定を行った結果を示すグラフである。

発明を実施するための最良の形態

[実施の形態 1]

15 以下、本発明の実施の一形態について、図 1 ないし図 4 に基づいて  
説明すれば以下の通りである。なお、本発明はこれに限定されるもの  
ではない。

本発明にかかる圧電センサは、対向する透明導電膜と、当該透明導  
電膜間に形成された圧電性を有する透明感圧層（圧電素子）とからな  
20 る積層電極が、一对の対向する透明基板上に積層一体化されており、  
全体として透明な圧電センサである。

まず、本実施形態の圧電センサの構成について説明する。

図 1 は、本実施形態にかかる圧電センサの構造を示す断面図である。

図 1 に示されるように、本実施形態の圧電センサは、透明感圧層 1 と、

透明導電膜層 2、2'、2'' と、透明絶縁基板 3、3' と、電気回路 4 と、検出手段 5 とから構成されている。

透明感圧層 1 は、圧力によってその表面に電荷が発生する圧電材料からなるものである。透明感圧層 1 の素材（圧電材料）としては、圧電性を有し、透明導電膜 2、2' 間を絶縁できれば特に限定されるものではない。例えば、水晶、 $\text{LiNbO}_3$ 、 $\text{LiTaO}_3$ 、などの圧電結晶材料； $\text{PbZrO}_3$  と  $\text{PbTiO}_3$  の固溶体を母体とする  $\text{PbZrO}_3$  -  $\text{PbTiO}_3$  系材料（いわゆる PZT 系材料などの圧電セラミックス材料；窒化アルミニウム、酸化亜鉛などの圧電薄膜材料；ポリフッ化ビニリデン、ポリフッ化ビニルなどの高分子圧電材料；などを挙げることができる。これらのうち、圧電薄膜材料が好ましく、窒化アルミニウムおよび酸化亜鉛がより好ましい。窒化アルミニウムおよび酸化亜鉛は、機械的強度が比較的強いため、透明感圧層 1 として特に好ましい。

透明感圧層 1 の厚さ（層圧）は、後述の透明導電膜層 2、2' を絶縁できれば特に限定されるものではなく、必要に応じて適宜変更することができる。しかし、透明感圧層 1 が窒化アルミニウムまたは酸化亜鉛である場合の層圧は、 $1\ \mu\text{m}$  ~  $10\ \mu\text{m}$  が好適である。その理由は、 $1\ \mu\text{m}$  未満では絶縁不良が発生しやすく、 $10\ \mu\text{m}$  よりも大きいと透明感圧層 1 の形成時間が長くなってしまうためである。

透明導電膜層 2、2' は、透明感圧層 1 への加圧により生じた電荷を検出するためのものである。また、透明導電膜層 2'' は、後述のように外部からの雑音（ノイズ）の検出を防止するためのものである。

透明導電膜層 2、2'、2'' の材料としては、特に限定されるもの



ではないが、例えば、白金 (Pt)、クロム (Cr)、金 (Au)、銅 (Cu)、銀 (Ag)、アルミニウム (Al)、タンタル (Ta) などの金属の他、銀-ニッケル (Ag-Ni) などの合金などが挙げられる。

5        また、透明導電膜層 2、2'、2'' は、そのそれぞれが同じ素材である必要はなく、透明感圧層 1 との相性や用途に応じて異なる素材を選択することもできる。

10        透明絶縁基板 3、3' の材料としては、例えば、ガラスなどの無機材料、ポリイミド、ポリエチレンテレフタレート、ポリカーボネート、ポリフェニレンサルファイドなどの樹脂フィルムが挙げられる。なお、透明絶縁基材 3、3' は、そのそれぞれが同じ素材である必要はなく、透明導電膜層 2、2' との相性や用途に応じて異なる素材を選択することもできる。

15        このように、本実施形態の圧電センサは、対向する一对の透明絶縁基板 3、3' 間に、圧電性を有する透明感圧層 1 と、当該透明感圧層 1 を介して対向配置される一对の透明導電膜層 2、2' とが形成されており、さらに、透明絶縁基板 3 上の透明導電膜層 2 が形成される面とは反対側の面に、透明導電膜層 2'' が形成されている。なお、図 1 の圧電センサにおいて、透明導電膜層 2'' は、形成しなくてもよいが、外部からの不要な雑音の混入を確実に防止するためには透明導電膜層 2'' を形成することが好ましい。

20

      また、図 1 の圧電センサでは、透明導電膜層 2' および 2'' を電気回路 4 により電氣的に接続し、電気回路を介して検出手段 5 に接続している。また、透明導電膜層 2' および 2'' 常に一定の電位 (す

なわちゼロ電位)が維持されるものとする。また、透明導電膜層2は電気回路4を介して検出手段5に接続され、透明感圧層1に発生した電荷を検出するものとする。

5 検出手段5は、例えば、電荷増幅器や電圧増幅器を介した電圧計などの表示装置や、それらの増幅器の出力電圧を、AD変換装置を介してコンピュータへ取り込む装置などが挙げられる。

次に、図1に示される圧電センサに圧力が加えられた場合の作用について説明する。なお、以下の説明では、外部からの圧力が、透明絶縁基板3'側から加えられるものとする。

10 前述した構成からなる図1の圧電センサに、透明絶縁基板3'側から物体が接触して圧力が加えられると、透明絶縁基板3'を介して透明感圧層1に圧力が作用する。この圧力により、圧電体である透明感圧層1に電荷が発生する。その結果、透明導電膜層2には透明感圧層1に発生した電荷と同じ電位が発生する。また、透明導電膜層2'および2''は、透明感圧層1に電荷が発生するか否かにかかわらず、  
15 常にゼロ電位が維持される。すなわち、透明導電膜層2と、電氣的に導体によって接続された透明導電膜2'および2''とは電位差が発生する。この電位差は、電気回路4を介して接続された検出手段5により検出される。

20 また、図1の圧電センサでは、透明導電膜層2''が形成されているので、外部から不要な雑音(ノイズ)が発生した場合であっても、そのノイズは透明導電膜層2'および2''によって遮蔽される。すなわち、透明導電膜層2は、透明導電膜層2''により外部から遮蔽されている。これにより、外部からのノイズを検出することなく透明

感圧層 1 に発生する電荷のみを検出できる。

このように、本実施形態の圧電センサは、外部から透明基板 3' に圧力が加えられると、透明感圧層 1 に電荷が発生し、その電荷を透明導電膜層 2 により検出している。したがって、透明導電膜 2 および 2' 同士が接触する必要がないので、接触による傷の発生を防止することができる。さらに、透明導電膜 2 および 2' が変形する必要がないため、従来よりも耐久性に優れている。また、透明導電膜層 2'' が形成されているので、外部からの不要な雑音の混入を確実に防止できる。

図 1 に示される圧電センサは、例えば、以下に示す (1) ~ (3) の工程により製造することができる。

(1) 透明絶縁基板 3 および 3' のそれぞれに透明導電膜層 2 および 2' を形成する工程と、

(2) 透明絶縁基板 3 および 3' の一方（例えば、透明絶縁基板 3）に形成された透明導電膜層 2 を覆うように、圧電性を有する透明感圧層 1 を形成する工程と、

(3) 感圧層 1 と、(2) の工程で感圧層 1 を形成していない透明絶縁基板 3' に形成した透明導電膜層 2' とを接着させる工程。

上記工程 (1) において、外部からの不要な雑音の混入を確実に防止するためには透明導電膜層 2'' を形成する工程をさらに設けてもよい。

また、上記工程 (1) において、透明導電膜層 2、2'、2'' は、例えば、印刷、薄膜処理、スパッタ、蒸着、イオンプレーティング、接着などの公知の方法から任意に選択して形成することができ、形成

方法は特に限定されるものではない。

上記工程（２）により形成される透明感圧層１は、例えば、スパッタリング法、イオンプレーティング法、ＣＶＤ法、ＰＶＤ法などの公知の方法から任意に選択して形成することができ、形成方法は特に限定されるものではない。

上記工程（３）における接着は、例えば、後述の実施例のように、シアノアクリレートを基材とする接着剤によって貼り付けることができるが、接着方法は、特に限定されるものではない。

このように、（１）～（３）の簡単な工程により、従来よりも耐久性や耐雑音性に優れた圧電センサを製造することができる。なお、後述する本発明の圧電センサを複数個備えた入力装置も、同様の工程により形成することができる。

次に、本発明の圧電センサの利用方法の一例について説明する。前述した本発明の圧電センサは、単独で用いた場合タッチキーとして動作するが、この圧電センサを複数個用いるとキーパッド（入力装置）として利用することができる。

図２は、その実施形態の一例を裏側（外部からの圧力が加わる面とは反対側の基板側）から示したものである。図１の圧電センサでは、透明絶縁基板３側から示したものである。なお、図２では、図１における感圧層１、透明導電膜２'、および透明絶縁基板３、３'の記載を省略している。また、以下の説明では、外部からの圧力が接触する面（パネル面）側（図１では透明絶縁基板３'側）を「上部」、その反対側を「下部」とする。また、これに伴い、透明導電膜層２、２'、２''を、それぞれ上部から順に、上部の透明導電膜層２'、中間の透

明導電膜層 2、下部の透明導電膜層 2'' と区別して記載する。

図 2 に示されるタッチパネルは、以下のようにして形成される。まず、下部の透明絶縁基板 3 の 1 つの面全体に、下部の透明導電膜層 2'' を形成する。次に、透明絶縁基板 3 の下部透明導電膜層 2'' が  
5 形成された面と反対の面に、中間の透明導電膜 2 を形成する。続いて、中間の透明導電膜層 2 の上面全体に透明感圧層 1、上部の透明導電膜 2'、透明絶縁基板 3 の順に、各層を形成する。上部の透明導電膜層 2' および下部の透明導電膜層 2'' は、リード線などの導体により電氣的に接続され、常にゼロ電位とする。中間の透明導電膜 2 は、キ  
10 ーパッドとして必要なキーの個数分、分割して形成し、各々の中間の透明導電膜 2 から出力用の端子 6 が外部に接続される。なお、上部の透明絶縁基板 3' は、キーごとに分割して形成してもよいし、分割せず 1 枚の絶縁基板に一体形成してもよい。一体形成した場合、各キー間にクロストークが発生する可能性があるが、キーを押した時の圧  
15 力分布により、各キーの出力が異なるので、出力値や遅延時間によって各キーの出力を区別することができる。

なお、中間の透明導電膜層 2 の形状は、図 2 に示されるようなマトリクス状でもよいし、図 3 に示されるような同心円状としてもよい。マトリクス状とすれば、通常のキーボードのようにして使用することが  
20 ができる。一方、同心円状とすれば、円形パネルにおいて中心からの距離に応じた接触情報を簡単に取得できる。したがって、例えば、電子式ドラムの打面に用いると、スティックの接触位置を特定することが可能になり、それにより発生音の音声を変化させることができる。

このような、本発明の入力装置は、本発明の圧電センサを備えてい

るので、従来のように透明導電膜層同士が接触することがない。これにより、透明導電膜層同士の接触による傷を防止することができる。さらに、透明導電膜が変形する必要がないので耐久性にも優れている。

5       なお、本発明の圧電センサは、圧電性を有する透明な感圧層を、対向する透明な導電膜間に形成して透明な基板上に積層一体化し、全体として透明であるということもできる。

これによれば、透明導電膜同士が接触する必要がないので、接触による傷の発生を防止することができる。さらに、透明導電膜が変形する必要がないため、従来よりも耐久性に優れた圧電センサを提供する  
10       ことができる。

また、本発明の圧電センサは、圧電性を有する透明感圧層の両端に、透明導電膜層を形成し、それが一对の透明基板間に形成されているものであってもよい。すなわち、一对の透明基板が、透明感圧層と、その両端の透明導電膜とに接していてもよい。

15       また、本発明の圧電センサは、一对の対向する基板のそれぞれに透明導電膜層が形成された圧電センサにおいて、上記透明導電膜層の間に、圧電性を有する透明感圧層が形成されている構成であってもよい。

これによれば、透明基板に圧力が加えられると、その圧力が透明感圧層に作用し、透明感圧層に電荷が発生する。この電荷を透明感圧層の両端に形成された透明導電膜によって検出することにより、外部から  
20       加えられた圧力を検出できる。したがって、透明導電膜同士が接触する必要がないので、接触による傷の発生を防止することができる。

さらに、透明導電膜が変形する必要がないため、従来よりも耐久性に優れた圧電センサを提供することができる。

本発明にかかる圧電センサの製造方法は、透明導電膜層が形成された一対の基板に、当該透明導電膜同士が感圧層を介して隣接するように圧電性を有する感圧層を形成する工程を含むものであってもよい。

上記の構成によれば、圧電性を有する透明感圧層を介して対向する透明導電膜が形成された圧電センサが製造される。換言すれば、感圧層を介して一対の透明導電膜が対向配置された圧電センサが製造される。この圧電センサは、透明導電膜同士が接触する必要がないので、接触による傷の発生を防止することができる。さらに、透明導電膜が変形する必要がないため、従来よりも耐久性に優れた圧電センサを提供することができる。

#### [実施例 1]

実施の形態 1 にかかる圧電センサの実施例を以下に示す。

ガラス基板の一方の面に ITO が被覆された ITO 付きガラス基板を、透明基板および透明導電膜層とした。この ITO 付きガラス基板の厚さは 1 mm とした。次に、この ITO 付きガラス基板の ITO 上に、透明感圧層として 1  $\mu$  m の窒化アルミニウム薄膜をスパッタリング法により形成した。

続いて、別の ITO 付きガラス基板を用意し、この ITO 層と、上記窒化アルミニウム薄膜からなる透明感圧層とを、シアノアクリレートを基材とする接着剤によって貼り付けた。

すなわち、本実施例の圧電センサの各層は、ガラス基板（透明絶縁基板層）、ITO（透明導電膜層）、窒化アルミニウム（圧電素子）、ITO（透明導電膜層）、ガラス基板（透明絶縁基板層）の順に、形成されている。

ここで、透明電極が対向して透明センサとして動作する部分（すなわち、1対のITO層と、ITO層に挟持された窒化アルミニウムとからなる3層）の長さおよび幅は、共に15mmであった。

また、それぞれのITO層（透明導電膜層）には、導線を取り付け、  
5 電荷増幅器を介してシンクロスコープに接続することにより、圧電センサを作製した。図5は、作製した圧電センサを用紙の上に置いたものである。このように、作製した圧電センサのセンサ部分から用紙の文字を確認できる。つまり、この圧電センサは確実に透明である。

この圧電センサに、電動式加圧器によって周波数1Hzの方形波状  
10 の圧力を印加して、センサの応答を調べた。その結果、図4に示されるように、圧電センサに約40Paの圧力を印加した状態と、圧力を開放した状態に応じて発生電荷が変化した。

#### [実施の形態2]

本発明の実施の一形態について図6および図7に基づいて説明すれば、以下の通りである。  
15

上記圧電薄膜層（圧電素子）を備える金属ダイアフラム（圧力伝達手段）は、内燃機関のシリンダー内に通じる孔を備える主体金具における、孔のシリンダーへの開口端に圧封され、シリンダーの現象を検出する圧電センサを構成する。

図6は本実施の形態の、内燃機関のシリンダーの内圧を測定する圧電センサの縦断面図である。  
20

圧電センサは、信号伝達部15、圧力検知手段23、およびキャップ24からなり、圧力検知手段23側の空間からの圧力を感知し、電気信号を出力するものである。



圧力検知手段 23 は、検出開口にて、圧力を受けて電気信号に変換する機能を有する。その詳細は後述する。

信号伝達部 15 は、主体金具 21、信号出力棒 28、および電気絶縁環柱 27 からなり、圧力検知手段 23 が出力した電気信号を信号搬送用ケーブルまで伝達する。

主体金具 21 はボルト構造をなしており、上端部 21c、上部 21d、下部 21a、下端部 21b からなり、その内部には上端から下端まで貫通した軸孔 26 が形成されている。

上端部 21c は、その外周に上端部雄螺子 22c を有しており、図示しない信号搬送用のケーブルを取り付けるためのコネクタと螺合できる。上部 21d は他の部分より径が大きく、外周が角部を有しており、主体金具 21 を他の部材に螺合する際に、スパナ等の締め付け工具と適合する六角部としての役目を有している。下部 21a は、その外周に下部雄螺子 22a を有しており、圧力を測定するシリンダーのシリンダブロックに螺合できる。下端部 21b は外周部に下端部雄螺子 22b を有している。この下端部雄螺子 22b は、上記圧力検知手段 23 を主体金具 21 の下端に圧封するためのキャップ 24 と螺合できる。

軸孔 26 は、下端部側の径の大きな大径孔 26a と、上端部側の径の小さな小径孔 26b との接続孔である。上記大径孔 26a には、電気絶縁環柱 27 が挿入されており、電気絶縁環柱 27 の中心部を貫くように、軸孔 26 と平行な金属製の信号出力棒 28 が設置されている。信号出力棒 28 は、小径孔 26b まで貫通し、上端は、主体金具 21 の上端部 21c において図示しない信号搬送ケーブルと接続される。

信号出力棒 28 の下端部側の端は金属製の電極 29 を形成しており、  
電極 29 の下面は軸孔 26 の下端部で圧力検知手段 23 と接触できる  
ようになっている。軸孔 26 の下端はシリンダー内部に位置して、シ  
リンダーの圧力がかかる検出開口となっており、ここで圧力検知手段  
5 23 がシリンダーの内圧を検知する。また、電極 29 および信号出力  
棒 28 は、軸孔 26 においては電気絶縁環柱 27 とだけ接触しており、  
主体金具 21 から電氣的に絶縁されている。

主体金具 21 の下端に取り付けられるキャップ 24 は、圧力検知手  
段 23 を覆って軸孔 26 の下端に圧着させるものである。キャップ 2  
10 4 の中心には、圧力検知手段 23 より径の小さな開口部を設けてあり、  
圧力検知手段 23 がキャップ 24 により軸孔 26 の下端に圧着された  
後も圧力検知手段 23 の中心部分の下面は露出するようになっている。  
つまり、キャップ 24 の開口部の周辺部が圧力検知手段 23 を押さえ  
つけて、主体金属 21 に圧封する。キャップ 24 は、主体金具 21 の  
15 下端部の下端部雄螺子 22b と螺合して、圧力検知手段 23 を主体金  
属 21 に圧封保持する。

次に、図 7 を用いて圧力検知手段 23 について詳細に説明する。

圧力検知手段 23 は、金属ダイアフラム（圧力伝達手段）10 上に、  
下地層 11、圧電薄膜層（圧電素子）12 および上部電極 13 がこの  
20 順に成膜してなるものである。

それぞれの成膜には、物理気相成長法（PVD）法、すなわち、物  
理的方法で物質を蒸発し、成膜する部材上で凝縮させて薄膜を形成す  
る方法を用いることができる。例えば、抵抗加熱蒸着または電子ビー  
ム加熱蒸着等の真空蒸着法、DC スパッタリング、高周波スパッタリ

ング、RFプラズマ支援スパッタリング、マグネトロンスパッタリング、ECRスパッタリングまたはイオンビームスパッタリング等の各種スパッタリング方法、高周波イオンプレーティング法、活性化蒸着またはアークイオンプレーティングなどの各種イオンプレーティング法、分子線エピタキシー法、レーザアブレーション法、イオンクラスタービーム蒸着法、並びにイオンビーム蒸着法などの方法である。

図7は、本実施の形態における圧力検知手段23の断面図である。圧力検知手段23は、金属ダイアフラム10、下地層11、圧電薄膜層12および上部電極13がこの順に積層して構成され、主体金具21に取り付けられる場合、上部電極13が電極29と圧着されるように軸孔26の下端の開口部に装着される。

金属ダイアフラム10は、圧力を計測する空間と接してその圧力を圧電薄膜層12に伝達するとともに、圧力検知手段23を支える基板としての働きもある。金属ダイアフラム10は、高温となる内燃機関シリンダー内に位置するので、耐熱性が必要であり、金属ダイアフラム10に例えばインコネルまたはSUS630相当の耐熱金属材料を使用するのがよい。圧電薄膜層12を形成する側の表面は、圧電薄膜層12のひびやはがれ、結晶軸の配向性を高めるために、研磨や化学的な方法によって鏡面加工していることが望ましい。

また、下地層11は、その上に作製する圧電薄膜層12と金属ダイアフラム10との緩衝層であり、圧電薄膜層12の極性の配向や結晶軸の配向、金属ダイアフラム10との濡れ性の改善などの役割を持つ。また、下地層11は下部電極の機能を兼ねる。

下地層11の材料としては、TiN、MoSi<sub>2</sub>、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>、Cr、

Fe、Mg、Mo、Nb、Ta、Ti、Zn、Zr、W、Pt、Al、Ni、Cu、Pd、Rh、Ir、Ru、Au又はAg、を用いることができ、単層あるいは複数の材料を用いた2層以上の複層とすることができる。

- 5 圧電薄膜層12は、金属ダイアフラム10および下地層11を介して伝わった圧力を受け取り、それに応じた電気信号を出力する。すなわち、圧電薄膜層12に測定圧力を印加させて電気信号に変換する。圧電薄膜層12は、窒化アルミニウム(AlN)または酸化亜鉛(ZnO)を、スパッタリング法で作製することが望ましい。
- 10 上部電極13は、主体金具21内の電極29と圧着して、印加圧力によって発生した電荷を電極29、信号出力棒28を介して図示しない信号搬送ケーブルに伝達するものである。上部電極13の材料は、下地層11と同様の材料を用いることができるが、同一のものである必要はなく、圧電薄膜層12や電極29との相性によって適時選択す
- 15 ればよく、またその構造も単層で構わない。

以上の圧電センサの動作を説明すると、金属ダイアフラム10、は受けた圧力を圧電薄膜層12に伝え、圧電薄膜層12は伝えられた圧力を電気信号に変換する。電気信号は、上部電極13から電極29、信号出力棒28に伝わり、主体金具21の上端から信号搬送ケーブル

20 に伝達され、図示しない圧力表示部にて、計測圧力を表示する。

なお、圧電薄膜層12の材料は、窒化アルミニウム(AlN)や酸化亜鉛(ZnO)に限らず、キュリー点の存在しない圧電材料であればよく、他にGaNが挙げられる。このような圧電材料は、結晶が融解あるいは昇華するまで圧電性を失うことがない。ウルツ鉱構造の結

晶構造をもつ物質は、結晶に対称性が存在しないため圧電性を備えており、また強誘電体でないので、キュリー一点が存在しない。したがって、係る圧電材料からなる圧電素子は、耐熱性に優れ、圧電特性が劣化することがなく、エンジンのシリンダーのように500℃近い高温中に曝されたとしても、その圧電素子としての機能を失うことがない。そのため、圧電素子の冷却手段が不要となり、温度の低い位置に圧電素子を設置しなければならないという制限もなくなるので圧電センサの構造が単純化する。

また、本発明の圧電センサは、金属ダイアフラム10に圧電薄膜層12等の薄膜が形成されてなるものである。

上記の構成によれば、圧力検知手段23が、金属ダイアフラム10上に圧電薄膜層12等の薄膜が形成されてなるので、薄型化、小型化する。さらに、この構成の場合に用いられる金属ダイアフラムは、従来とは異なり、圧電素子への圧力伝達のみにより用いられ、たわみひずみではなく、圧縮ひずみが発生する。したがって、その圧力によるひずみ量はごく僅かで、その上に形成される圧電素子のひずみも小さく、過大なひずみによる圧電素子の破壊を防ぐための構造も必要ない。これにより、低価格で、簡単な構造の圧電センサを実現できる。

また、本発明の圧電センサの圧電薄膜層12の厚さが、0.1  $\mu\text{m}$  から100  $\mu\text{m}$  の範囲とすることが望ましい。また、0.5  $\mu\text{m}$  以上20  $\mu\text{m}$  以下とするのがより好ましく、1  $\mu\text{m}$  以上10  $\mu\text{m}$  以下とするのがさらに好ましい。0.1  $\mu\text{m}$  より薄いと、下地層11と上部電極13との間で短絡が発生しやすく、100  $\mu\text{m}$  より厚いと成膜時間が長時間になってしまう。

また、圧電薄膜層 12 は、良好な圧電特性を保つために、双極子配向度を 75% 以上とすることが望ましく、90% 以上とするのがさらに望ましい。これは、双極子配向度が 75% より小さいと、見かけ上の圧電定数が双極子配向度 100% 時の半分以下になってしまい、圧電薄膜層 12 の圧電特性が劣化し、良好に圧力を検知できなくなるためである。双極子配向度が 75% 以上であれば、十分な圧電性がある。

双極子配向度を 75% 以上とするためには、結晶柱が成長する際に最初の原子をそろい易くする必要がある、下地層 11 の材料は圧電薄膜層 12 の材料と同じ成分の金属（圧電薄膜層 12 に AlN を用いる場合には下地層 11 が Al、圧電薄膜層 12 に ZnO を用いる場合には下地層 11 が Zn など）が望ましい。複層とする場合には、最上層（圧電薄膜層 12 と接する層）を圧電薄膜層 12 の材料と同じ成分の金属を材料とするのが望ましい。

また、本実施の形態では、圧力伝達手段として金属ダイアフラム 10 を用いたが、従来のように金属ダイアフラムから圧力伝達棒等の他の部材を介して、圧電薄膜層に圧力を伝達する構成であっても、耐熱性に優れ、冷却手段が不要な圧電センサが提供できる。

なお、本発明の圧電センサは、内燃機関のシリンダー内圧を計測するものを例として挙げたが、これに限らず、原子力発電所等のプラントにおけるパイプやタンク内の高温高圧流体の圧力変動計測等への適用も有効である。

なお、本発明は、以下の圧電センサとして構成することもできる。

内燃機関のシリンダーに装着される主体金具に、検出開口がシリンダーに位置する軸孔を備え、その軸孔の内部に圧電薄膜素子を収納し

てなるものにおいて、前記圧電薄膜素子への圧力伝達手段として金属ダイアフラムのみからなることを特徴とする第1の圧電センサ。

上記第1の圧電センサにおいて、圧電薄膜素子が、キュリー点の存在しない圧電薄膜材料よりなり、厚み $0.1\mu\text{m}\sim 0.1\text{mm}$ の圧電薄膜素子を用いたことを特徴とする圧電センサ。

上記第1の圧電センサにおいて、圧電薄膜素子が、窒化アルミニウムまたは酸化亜鉛の薄膜よりなることを特徴とする圧電センサ。

上記第1の圧電センサにおいて、圧電薄膜素子が、双極子配向度75%以上の窒化アルミニウムの圧電薄膜よりなることを特徴とする圧電センサ。

### [実施の形態3]

本発明の実施の一形態について図8に基づいて説明すれば、以下の通りである。

本発明の圧電センサは、基板31上に、下地層（第1の導電膜層）32、圧電薄膜層（圧電素子）33および上部電極（第2の導電膜層）34がこの順に成膜されてなるものである。

それぞれの成膜には、実施の形態2と同様の、物理気相成長法（PVD法）を用いることができる。

図8は、本発明の実施の一形態に係る薄膜型圧電センサの断面図であり、基板層31、下部電極を兼ねる下地層32、圧電薄膜層33、及び上部電極34が順に積層され一体化して形成される。

上記圧電センサは、基板31の下面を被測定物体に取り付けて使用される。被測定物体に振動が発生すると、振動が基板31に伝達され、基板31は被測定物体とともに振動するが、圧電センサの被測定物体

の反対側は慣性力により振動に遅れが生じるので、圧電薄膜層 33 に振動加速度に比例した圧縮、あるいは引っ張り応力が発生する。そして、圧電薄膜層 33 がその応力に比例した電荷あるいは電圧が、圧電薄膜層 33 の両面に発生し、圧電薄膜層 33 両側に配設された下地層 32 および上部電極 34 がその電気を取り出し、その取り出された電気出力を測定することによって被測定物体の振動の大きさや加速度を検知することができる。

基板 31 は、振動や圧力を直接に受けて、応力を発生させるものであり、絶縁性または導電性の基板を用いることができる。

絶縁性基板としては、酸化物系、炭化物系、窒化物系又はホウ化物系セラミックスの焼結体や石英ガラスからなる基板を用いることができる。特に SiC (多結晶炭化ケイ素) を材料とする基板が望ましいが、その他の炭化物系セラミックス基板 (例えば、 $B_4C$ 、 $TiC$ 、 $WC$ 、 $ZrC$ 、 $NbC$ 、 $HfC$  からなる基板) や、酸化物系セラミックス基板 (例えば、 $AlO_3$ 、 $ZrO_2$ 、 $TiO_2$ 、 $SiO_2$  からなる基板) を使用でき、さらに、窒化物系セラミックス基板 (例えば、 $CBN$ 、 $AlN$ 、 $TiN$  からなる基板)、また、ホウ化物系セラミックス基板 (例えば、 $TiB_2$ 、 $ZrB_2$ 、 $CrB_2$ 、 $MoB$  からなる基板) を使用することができる。これらのセラミックス材料は、耐熱性に優れ、製造が容易で安価であるほか、硬度が高く、緻密な特性を有するものが望まれる。

導電性の基板には、例えばインコネル又は SUS 630 相当の耐熱性金属材料のようなものが良く、その表面は、圧電薄膜層 33 のひびやはがれ、結晶軸の配向性を高めるために、研磨や化学的な方法によ



って鏡面加工していることが望ましい。

下地層 32 は、その上に作製する圧電薄膜層 33 と基板 31 との緩衝層であり、圧電薄膜層 33 の双極子の配向や結晶軸の配向、基板 31 との濡れ性の改善などの役割を持つ。下地層 2 の材料としては、TiN、MoSi<sub>2</sub>、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>、Cr、Fe、Mg、Mo、Nb、Ta、  
5 Ti、Zn、Zr、W、Pt、Al、Ni、Cu、Pd、Rh、Ir、Ru、Au 又は Ag、を用いることができ、単層あるいは複数の材料を用いた 2 層以上の複層とすることができる。

10 圧電薄膜層 33 は、基板 31 が発生させた応力を受けて、それに比例した電荷、あるいは電圧を発生させる。

圧電薄膜層 33 の材料としては、窒化アルミニウム (AlN) または酸化亜鉛 (ZnO) が望ましいが、これに限らず、キュリー温度の存在しない圧電材料であればよい。キュリー温度の存在しない圧電材料は、結晶が融解あるいは昇華するまで圧電性を失うことがない。キュリー温度の存在しない圧電材料には、ウルツ鉱構造の結晶構造をもつ物質が挙げられ、AlN、ZnO の他に GaN が挙げられる。この  
15 ようなウルツ鉱構造の結晶構造をもつ物質結晶は、対称性が存在しないため圧電性を備えており、また強誘電体でないので、キュリー温度が存在しない。したがって、係る圧電材料からなる圧電薄膜層 33 は、  
20 耐熱性に優れ、高温下でも圧電特性が劣化することがなく、エンジンのシリンダーのように 500℃ 近い高温中に曝されたとしても、その圧電体としての機能を失うことがない。そのため、圧電薄膜層 33 の冷却手段が不要となり、温度の低い位置に圧電層を設置しなければならないという制限もなくなるので圧電センサの構造が単純化する。

また、圧電薄膜層 33 は、双極子配向度が 75% 以上であり、さらに 90% 以上であることが好ましい。これは、双極子配向度が 75% より小さいと、見かけ上の圧電定数が双極子配向度 100% 時の半分以下になってしまい、圧電薄膜層 33 の圧電特性が劣化し、良好に応力を検知できなくなるためである。双極子配向度が 75% 以上であれば、十分な圧電性が保たれる。

圧電薄膜層 33 の双極子配向度を 75% 以上とするためには、結晶柱が成長する際に最初の原子をそろい易くする必要がある。一方、キュリー温度の存在しない圧電材料は、チタン酸ジルコン酸鉛のような強誘電体と異なり、結晶形成後に事後的に外部電場によって制御することは不可能であるため、圧電薄膜層 33 の双極子配向度を 75% 以上に保つには、圧電薄膜層 33 の形成時に双極子配向度を 75% 以上となるように圧電薄膜層 33 の結晶を制御しなければならない。具体的には、基板上に圧電層の結晶の双極子配向を整える機能を有する下地層 32 を設けた後、圧電薄膜層 33 形成時に、基板温度、基板ターゲット間距離およびガス圧を最適な値に設定し、結晶の c 軸配向を揃える構成にすることで、圧電薄膜層 33 の双極子配向度を上げられる。このように、圧電特性を向上するためには、圧電素子の結晶を c 軸方向に配向させるのが望ましい。

さらに、下地層 32 の圧電薄膜層 33 と接する側の表面が、圧電薄膜層 33 に含まれる金属（圧電薄膜層 33 に AlN を用いる場合には Al、圧電薄膜層 33 に ZnO を用いる場合には Zn）で覆われている構成とすれば、より一層圧電薄膜層 33 の双極子配向度を高められる。このとき、下地層 32 を複層とする場合には、最上層（圧電薄膜

層 3 3 と接する層) を圧電薄膜層 3 3 に含まれる金属とするのが望ましい。なお、双極子配向度とは、圧電薄膜層 3 3 表面の結晶柱の極性が正あるいは負の、同一方向のものが占める割合であると定義する。

5 上部電極 3 4 は、印加応力によって発生した電荷を検出するものであり、下地層 3 2 と同様の材料を用いることができるが、同一のものである必要はなく、圧電薄膜層 3 3 との相性によって適宜選択しても良いし、またその構造も単層で構わない。

また、本発明の薄膜型圧電センサの圧電薄膜層 3 3 の厚さは、0. 1  $\mu\text{m}$  から 1 0 0  $\mu\text{m}$  の範囲とすることが望ましく、0. 5  $\mu\text{m}$  以上 10 2 0  $\mu\text{m}$  以下とするのがより好ましく、1  $\mu\text{m}$  以上 1. 0  $\mu\text{m}$  以下とするのがさらに好ましい。0. 1  $\mu\text{m}$  より薄いと、下地層 3 2 と上部電極 3 4 との間で短絡が発生しやすく、1 0 0  $\mu\text{m}$  より厚いと成膜時間が長時間になってしまう。

15 なお、本発明は、以下の薄膜型圧電センサとして構成することもできる。

酸化物系、炭化物系、窒化物系またはホウ化物系セラミックスの焼結体あるいは石英ガラスからなる絶縁性基板上に金属電極を形成し、その上にキュリー温度が存在しない圧電薄膜材料からなる双極子配向度が 9 0 % 以上の圧電性セラミックス薄膜と、さらにその上に金属電極を積層一体化したことを特徴とする第 1 の高温薄膜型圧電センサ。 20

インコネルまたは S U S 6 3 0 の相当のような耐熱性金属材料からなる導電性基板上に緩衝層となる金属薄膜を形成し、その上にキュリー温度が存在しない圧電薄膜材料からなる双極子配向度が 9 0 % 以上の圧電性セラミックスの薄膜と、さらにその上に金属電極を積層一体

化したことを特徴とする第2の高温薄膜型圧電センサ。

上記第1または第2の薄膜型圧電センサにおいて、圧電薄膜素子が、厚み $0.1\mu\text{m}\sim 0.1\text{mm}$ の圧電薄膜素子を用いたことを特徴とする薄膜型圧電センサ。

5      上記第1または第2の薄膜型圧電センサにおいて、圧電薄膜素子が、窒化アルミニウムまたは酸化亜鉛の薄膜よりなることを特徴とする薄膜型圧電センサ。

10      上記第1または第2の薄膜型圧電センサにおいて、圧電薄膜素子が、圧電性セラミックス薄膜の上に形成する金属電極が2個以上に分割されていることを特徴とする薄膜型圧電センサ。

#### [実施例2]

実施の形態3にかかる圧電センサの実施例を以下に示す。

15      直径 $17\text{mm}$ 、厚さが $1\text{mm}$ の石英ガラス基板の表面に、スパッタリング法により直径 $3\text{mm}$ の円形状のアルミニウム薄膜の下地層を形成し、さらにその上に、厚さ約 $1\mu\text{m}$ の $\text{AlN}$ （窒化アルミニウム）薄膜の圧電薄膜層をスパッタリング法により作製した。

    X線回折パターンを解析することにより、上記 $\text{AlN}$ が結晶性に優れ、 $c$ 軸方向に配向していることがわかった。また、圧電層の双極子配向度は $92\%$ であった。

20      次に、 $\text{AlN}$ の表面に、さらに上部電極として直径 $3\text{mm}$ の円形状のアルミニウム電極を、下部電極と重なるようにスパッタリング法によって作製した。

    図10は、上記薄膜型圧電センサを用いて圧縮型の薄膜型圧電センサを構成し、振動探知測定を行った結果を示すものである。横軸が時

間を示し、縦軸が発生した電気の電圧を示している。測定において、上記薄膜型圧電センサを金属性構造物に固定し、横軸の時間における1.51秒時に、ハンマーによって上記金属性構造物を打撃することによって発生した振動を薄膜型圧電センサによって検出した。図10によると、打撃とほぼ同一時刻の1.519秒で圧電センサが大きな電圧が発生しているので、薄膜型圧電センサは振動に対応して電圧が発生している事が示された。すなわち、上記薄膜型圧電センサは適切な圧電特性を備えていた。

#### [実施の形態4]

本発明の実施の一形態について図9に基づいて説明すれば、以下の通りである。

本発明の薄膜型圧電センサは、基板31上に、下地層（第1の導電膜層）32、圧電薄膜層（圧電素子）33および複数の分割上部電極（第2の導電膜層）35がこの順に成膜してなるものである。

基板31、下地層32、圧電薄膜層33の材料及び作製方法は、実施の形態3と同様であるが、本発明の圧電薄膜層33は、分割上部金属電極35が、2個以上に分離されて形成されている。

分割上部金属電極35の材料及び作製方法も実施例3とほぼ同様であるが、圧電薄膜層33を成膜した後に、分離電極上部電極35を、パターンマスクなどを用いて成膜する。つまり、実施の形態3では上部電極34が一つの連続した層として形成されるのに対し、実施の形態4では成膜する際に、任意のパターンマスクを基板31上の圧電薄膜層33表面に配置することにより任意の形、個数に分割された分割上部電極35が作製される。

このような構成によれば、薄膜型圧電センサの表面に場所によって異なる応力が生じた場合には、圧力等の応力が分割上部電極 35 の位置によって異なることになる。これにより、各分割上部電極 35 上に異なる電荷や電圧が発生し、その差分を検出することができるようになる。すなわち、応力が薄膜型圧電センサのどの部分に加わったかが検出できる。

このような薄膜型圧電センサは、時間的な応力分布の変化を測定することにより、振動の方向の検出に利用することができる。また、片持ち梁型やダイヤフラム型の薄膜型圧電センサを構成する場合には、上記応力の差分を検出することで、ハードウェアによる差分検出が可能となり、個々のアンプのダイナミックレンジに制約を受けずにせん断応力検出の高感度化を実現できる。

尚、発明を実施するための最良の形態の項においてなした具体的な実施態様または実施例は、あくまでも、本発明の技術内容を明らかにするものであって、そのような具体例にのみ限定して狭義に解釈されるべきものではなく、本発明の精神と次に記載する特許請求の範囲内で、いろいろと変更して実施することができる。例えば、異なる実施形態にそれぞれ開示された技術的手段を適宜組み合わせ得られる実施形態についても、本発明の技術的範囲に含まれる。

#### 産業上の利用の可能性

以上のように、本発明にかかる圧電センサは、透明入力装置に用いられる透明な圧電センサに適用できる。

本発明の圧電センサは、対向する一対の透明基板間に、圧電性を有

する透明な圧電素子と、当該圧電素子を介して対向配置される一対の透明導電膜層とが形成されていることを特徴としている。

5 本発明の圧電センサは、圧電素子を介して一対の透明導電膜が対向配置されている。そして、外部から基板に圧力が加えられると、圧電素子に電荷が発生し、その電荷を透明導電膜により検出することにより、外部からの圧力を検出する。したがって、透明導電膜同士が接触する必要がないので、接触による傷の発生を防止することができるという効果を奏する。さらに、透明導電膜が変形する必要がないため、従来よりも耐久性に優れた圧電センサを提供することができるという  
10 効果を奏する。

このような圧電センサは入力装置に適用できる。本発明の圧電センサを複数個備えている入力装置、すなわち、本発明の圧電センサをキーパットとして複数個備えた透明な入力装置では、圧電センサが、従来のように透明導電膜層同士が接触することがないので、接触による  
15 傷を防止することができ、耐久性にも優れている。したがって、本発明の圧電センサを備えている入力装置も同様の効果の入力装置を提供できるという効果を奏する。また、外部からの圧力を圧電素子により検出するので、簡素な構成で圧力が加えられた位置を検出できるという効果を奏する。

20 また、本発明の圧電センサは高温環境に強いので、内燃機関の内部や原子力は圧電所のプラント内部で使用する圧電センサに適用できる。

本発明の圧電センサは、圧電素子に、ウルツ鉱構造の結晶構造をもつ物質のような、キュリー点を持たない圧電材料、すなわち、窒化ア

ルミニウムや酸化亜鉛、またはこれと同効の圧電材料の双極子配向膜を用いている。このような圧電材料は、高温下でも圧電特性が劣らないから、従来のように冷却手段によって圧電素子を冷却する必要はない。また、温度の低い位置に圧電素子を設置しなければならないという制限もなくなるので、圧力伝達棒等が不要となり、圧電センサの構造を単純化できるという効果を奏する。

特に、上記圧電センサは、内燃機関のシリンダーに装着される主体金具に、検出開口がシリンダー内に位置する軸孔を備え、その軸孔の内部に上記圧力検知手段を収納してなるものに好適に適用できる。この場合、圧電素子が耐熱性を有しているため、圧電センサの構造の単純化が効果的に行える。また、双極子配向度を75%以上とすれば、圧電素子の圧電特性が保持され、圧電センサが良好に機能する。

また、本発明の圧電センサの構成として、圧電素子を主体金具の軸孔開口部に圧封する金属ダイアフラム上に物理気相成長法（PVD）法などを用いて形成すれば、金属ダイアフラムおよび圧電素子が、非常に薄くなるので、圧力検知手段が薄型化、小型化し、また、金属ダイアフラムや圧電素子のひずみは僅かとなり、ひずみを防ぐための構成が不要となる。このため、耐熱性を有する圧電センサの構造を極めて単純化することができるという効果を奏する。

また、本発明の薄膜型圧電センサは、基板表面に、第1の導電膜層、圧電素子、および第2の導電膜層をこの順に積層して形成された薄膜型圧電センサとしても利用できる。

上記構成によれば、圧電特性を保証し、小型で冷却手段を要せず、耐熱性に優れ、なおかつ低価格となり、エンジン内部や原子力発電所



の内部の、アコースティックエミッションや振動又は加速度を検出する薄膜型圧電センサを提供することができる。

以上のような構成の圧電センサは、耐熱性や耐久性に優れ、小型、安価な圧電センサを市場に供し得るという効果がある。

## 請 求 の 範 囲

1. 圧力を伝達する圧力伝達手段としての、対向する一对の透明基板間に、

5 圧電性を有する透明な圧電素子と、

当該圧電素子を介して対向配置される一对の透明導電膜層とが形成されていることを特徴とする圧電センサ。

2. 上記圧電素子が、窒化アルミニウムまたは酸化亜鉛よりなることを特徴とする請求項1に記載の圧電センサ。

10 3. 上記圧電素子の厚さは、 $1\mu\text{m} \sim 10\mu\text{m}$ であることを特徴とする請求項1または2に記載の圧電センサ。

4. 上記一对の透明基板の一方における上記透明導電膜が形成される面とは反対側の面に、さらに透明導電膜層が形成されていることを特徴とする請求項1ないし3のいずれか1項に記載の透明圧電センサ。

15 5. 一对の透明基板のそれぞれに透明導電膜層を形成する工程と、

当該透明基板の一方に形成された透明導電膜層を覆うように、圧電性を有する透明な圧電素子を形成する工程と、

当該圧電素子と、当該圧電素子が形成されていない他方の透明基板に形成された透明導電膜層とを接着させる工程とを含んでいることを特徴とする圧電センサの製造方法。

20

6. 請求項1ないし4のいずれか1項に記載の圧電センサを複数個備えていることを特徴とする入力装置。

7. 圧力を伝達する圧力伝達手段と、上記圧力伝達手段により伝達される圧力を受けて電気信号に変換する圧電素子とを含む圧力検知手段

を備えた圧電センサにおいて、

上記圧電素子が、キュリー点の存在しない圧電材料よりなり、その双極子配向度が75%以上であることを特徴とする圧電センサ。

8. 上記圧電素子が、ウルツ鉱構造の結晶構造をもつ物質よりなることを特徴とする請求項7に記載の圧電センサ。

9. 上記圧電素子が、窒化アルミニウムまたは酸化亜鉛よりなることを特徴とする請求項8に記載の圧電センサ。

10. 上記圧電素子が、物理気相成長法により形成されていることを特徴とする請求項7ないし9のいずれか1項に記載の圧電センサ。

11. 上記圧電素子の厚みが、0.1  $\mu\text{m}$ 以上100  $\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項7ないし10のいずれか1項に記載の圧電センサ。

12. 上記圧力伝達手段が金属ダイアフラムよりなるものであり、上記圧力検知手段が金属ダイアフラムの表面に圧電素子を形成されてなることを特徴とする請求項7ないし11のいずれか1項に記載の圧電センサ。

13. 内燃機関のシリンダーに、上記圧力検知手段を装着するための主体金具をさらに備えており、該主体金具は、シリンダー内部とシリンダー外部とを連通するための軸孔を有しており、該軸孔の内部に上記圧力検知手段が設けられていることを特徴とする請求項7ないし12のいずれか1項に記載の圧電センサ。

14. 上記圧力伝達手段が基板であり、

上記基板表面に、第1の導電膜層、上記圧電素子、および第2の導電膜層をこの順に積層して形成されたことを特徴とする請求項7ない

し 1 1 のいずれか 1 項に記載の圧電センサ。

1 5 . 上記基板が、酸化物系、炭化物系、窒化物系またはホウ化物系セラミックスの焼結体あるいは石英ガラスからなる絶縁性基板であることを特徴とする請求項 1 4 に記載の圧電センサ。

5      1 6 . 上記基板が、耐熱性金属材料からなる導電性基板であることを特徴とする請求項 1 4 に記載の圧電センサ。

1 7 . 上記第 1 の導電膜層の、圧電素子と接する側の表面が、圧電素子に含まれる金属で覆われていることを特徴とする請求項 1 4 ないし 1 6 のいずれか 1 項に記載の圧電センサ。

10      1 8 . 上記第 2 の導電膜層が、2 個以上に分割されて形成されていることを特徴とする請求項 1 4 ないし 1 7 のいずれか 1 項に記載の圧電センサ。

1/7

図 1

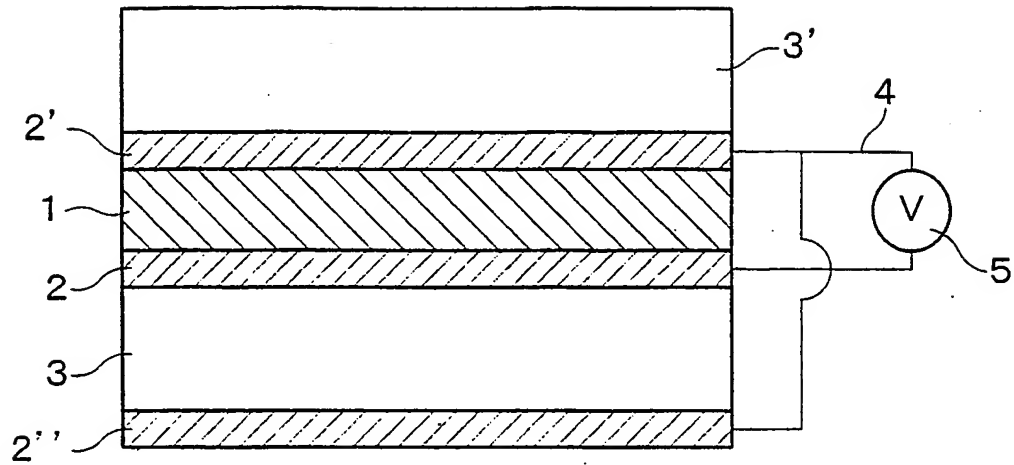
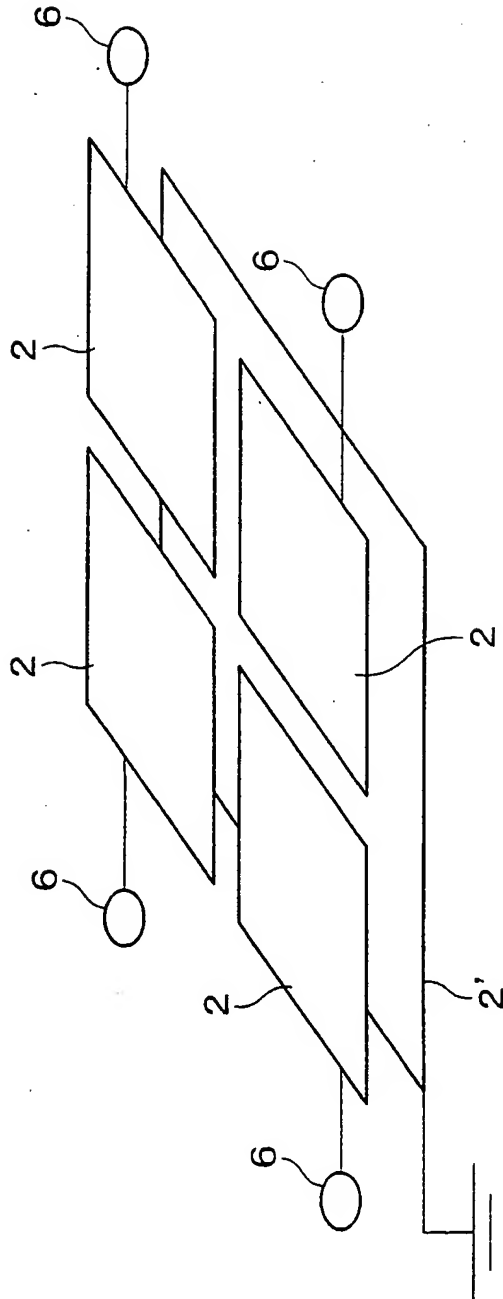
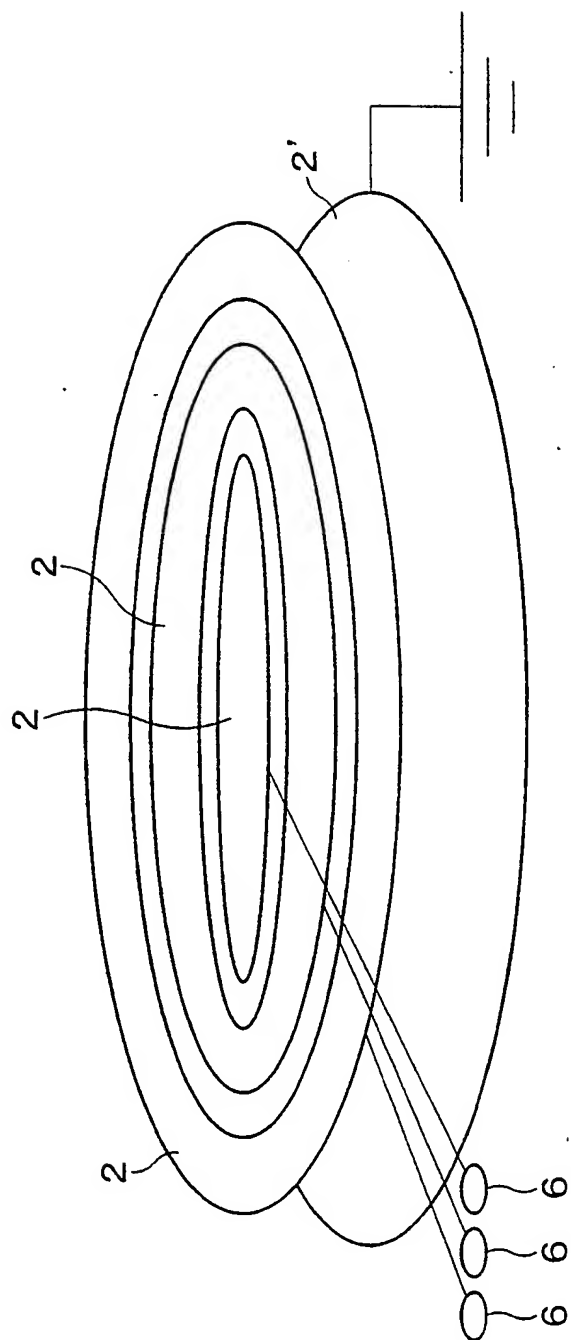


図 2



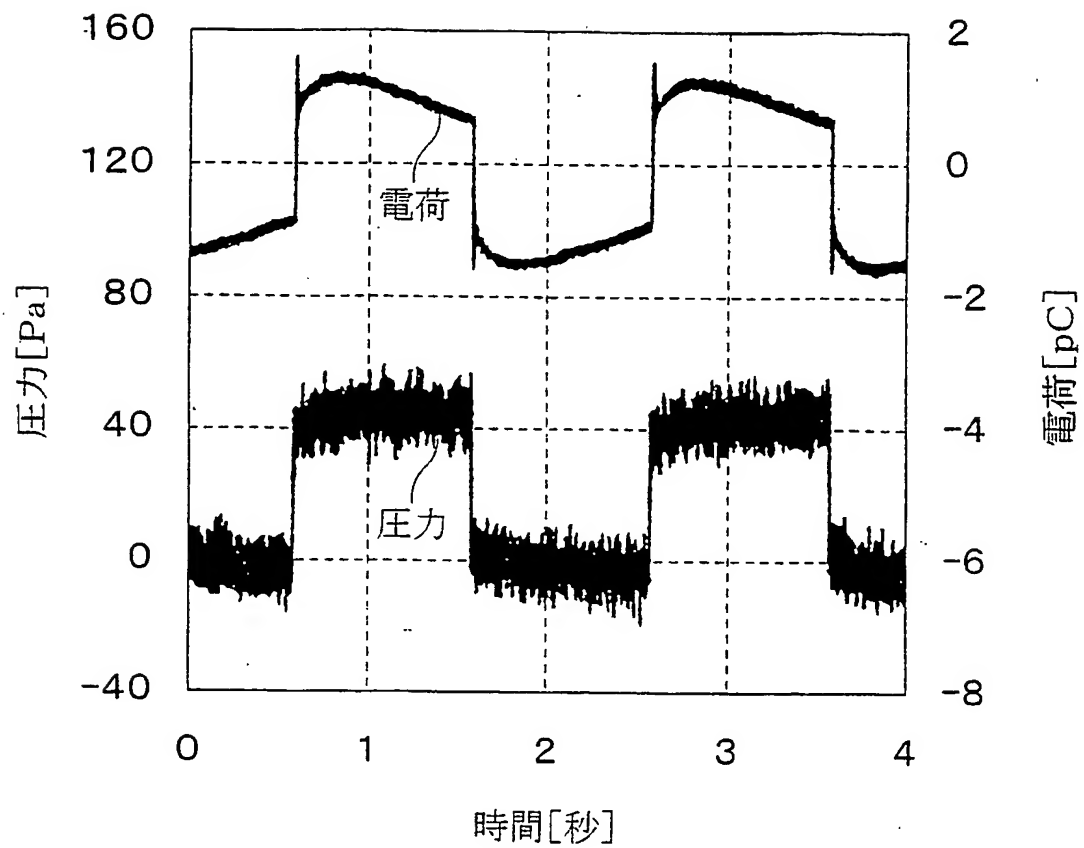
3/7

図 3



4/7

図 4





5/7

図 5

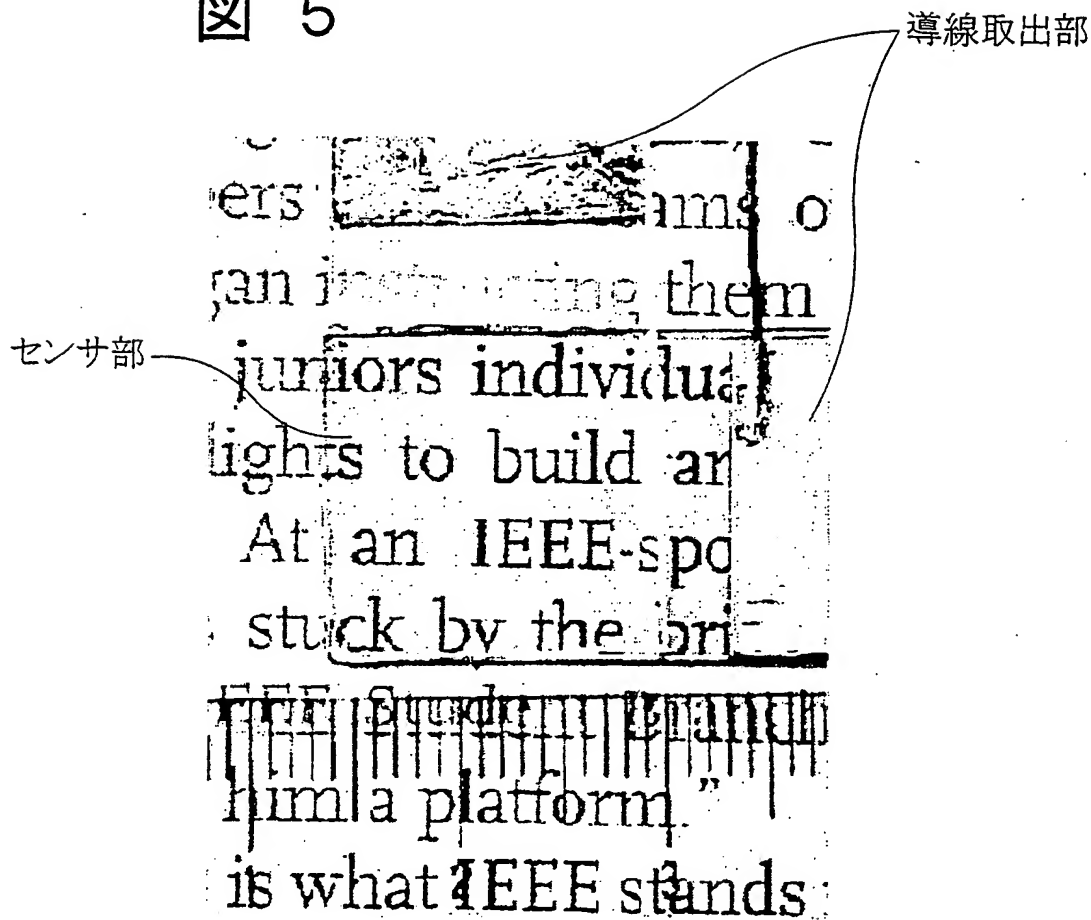


图 6

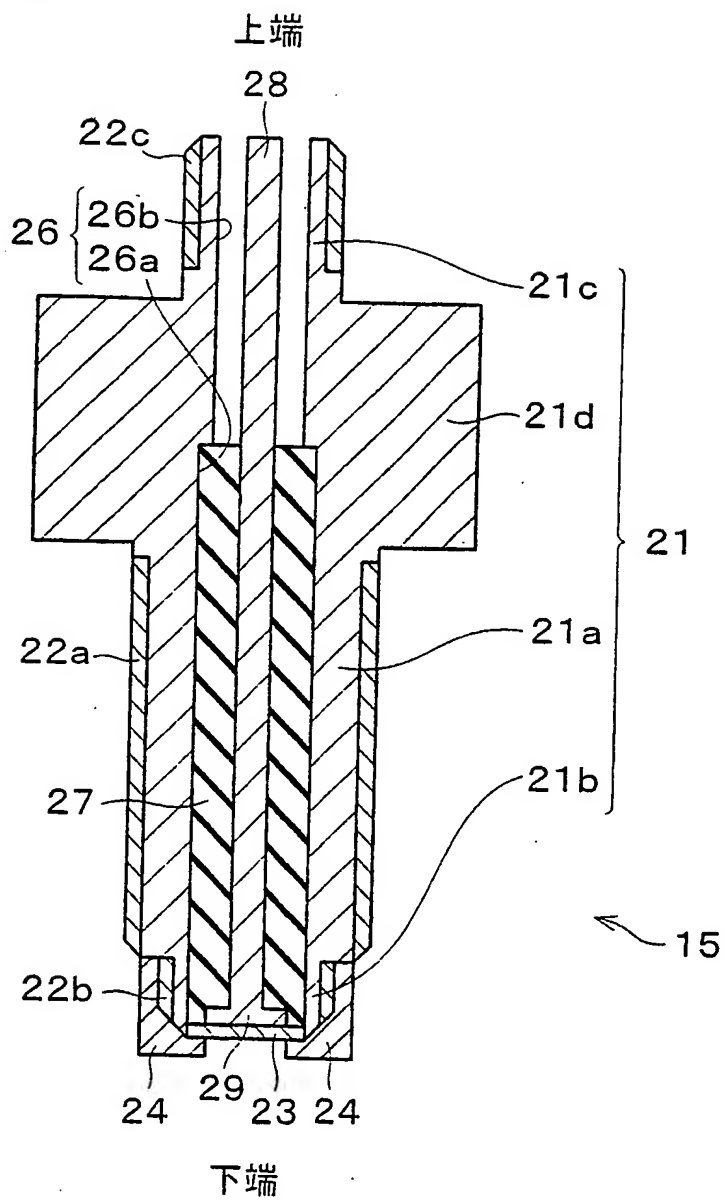
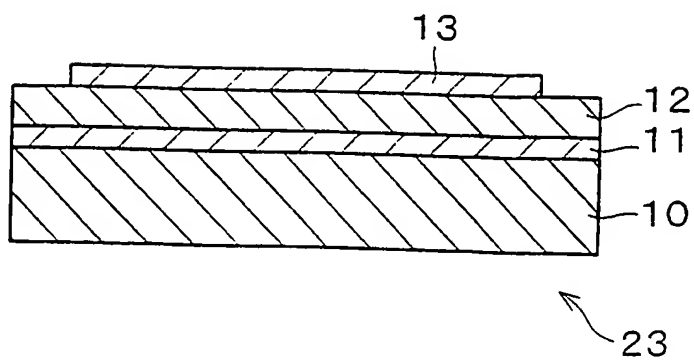


图 7



7/7

図 8

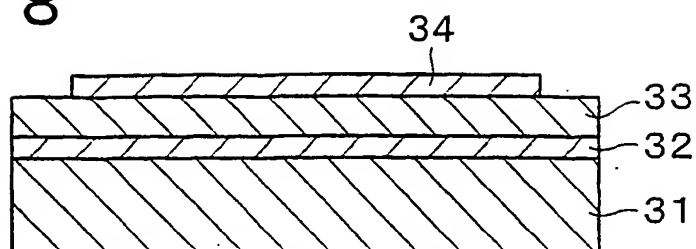


図 9

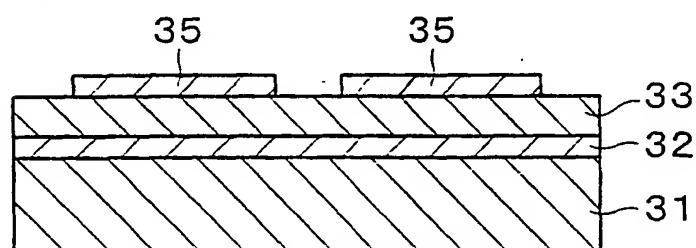


図 10

